

Ontologies et modélisation par SMA en SHS

sous la direction de
Denis Phan

hermes
Science
— publications —

Lavoisier

Série Informatique et Systèmes d'Information
sous la direction de Jean-Charles Pomerol

Architectures logicielles, Mourad Chabane Oussalah, 2014

Les cartes à puce, Samia Bouzefrane et Pierre Paradinas, 2013

Mise en œuvre de la méthode B, Jean-Louis Boulanger, 2013

Utilisations industrielles des techniques formelles : interprétation abstraite,
Jean-Louis Boulanger, 2011

Techniques industrielles de modélisation formelle pour le transport,
Jean-Louis Boulanger, 2011

*Interaction homme-machine dans les transports : personnalisation, assistance et
informations du voyageur*, Christophe Kolski, 2010

Liste des auteurs

Françoise ADREIT
IRIT
CNRS
Université Toulouse 2 Le Mirail

Anne BRETAGNOLLE
Université Paris 1
Géographie-cités
Paris

Nathalie BULLE
GEMASS
CNRS
Université Paris-Sorbonne

Edwige DUBOS-PAILLARD
Université Paris 1
Géographie-cités
Paris

Paul CHAPRON
CNRS
Géographie-cités
Paris

Joseph EL GEMAYEL
Faculty of Applied Sciences
American University of Technology
Tripoli
Liban

Mireille FARGETTE
IRD
UMR Espace-Dev
Université Montpellier II

Jacques FERBER
LIRMM-SMILE
CNRS
Université Montpellier II

Jean-Christophe FRANÇOIS
Université Paris-Diderot
Géographie-cités
Paris

Michel GROSSETTI
LISST
CNRS
Université Toulouse 2 Le Mirail

Leonardo LANA DE CARVALHO
Instituto de Psicologia
Universidade Federal de Uberlândia
Minas Gerais
Brésil

Patrice LANGLOIS
IDEEES
CNRS
Université de Rouen

Samuel LETURCQ
CITERES-LAT
CNRS
Université François Rabelais
Tours

Thérèse LIBOUREL
Université Montpellier II
UMR Espace-Dev
Montpellier

Pierre LIVET
CEPERC
CNRS
Université de Provence
Aix-en-Provence

Maud LOIREAU
IRD
UMR Espace-Dev
Université Montpellier II

Elisabeth LORANS
CITERES-LAT
CNRS
Université François Rabelais
Tours

Thomas LOUAIL
CEA
IPhT
Saclay

Hélène MATHIAN
CNRS
Géographie-cités
Paris

Jean-Pierre MÜLLER
CIRAD GREEN
Montpellier

Denis PHAN
GEMASS
CNRS
Université Paris IV Sorbonne

Damienne PROVITOLLO
Géoazur
CNRS
Université Sophia-Antipolis
Nice

Denise PUMAIN
Université Paris 1
Géographie-cités
Paris

Xavier RODIER
CITERES-LAT
CNRS
Université François Rabelais
Tours

Pascal ROGGERO
LEREPS
Université Toulouse 1 Capitole

Juliette ROUCHIER
LAMSADE
CNRS
Université Paris Dauphine

Lena SANDERS
CNRS
Géographie-cités
Paris

Sandra SANDRI
INPE
Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos
Brésil

Héloïse SIMON
IRD
UMR Espace-Dev
Montpellier

Christophe SIBERTIN-BLANC
IRIT, LAT
CNRS
Université Toulouse 1 Capitole

Cécile TANNIER
ThéMA LAT
CNRS
Université de Franche-Comté
Besançon

Franck VARENNE
Université de Rouen
GEMASS
CNRS
Université Paris IV Sorbonne

Roger WALDECK
Institut Mines-Telecom
Telecom Bretagne
Brest

Elisabeth ZADORA-RIO
CITERES-LAT
CNRS
Université François Rabelais
Tours

Table des matières

Introduction	15
PREMIÈRE PARTIE. ENJEUX, MODE D'EMPLOI ET MÉTHODOLOGIE	19
Chapitre 1. Introduction à la modélisation par SMA en SHS : comment fait-on une ontologie ?	21
Denis PHAN, Jean-Pierre MÜLLER, Christophe SIBERTIN-BLANC, Jacques FERBER et Pierre LIVET	
1.1. Introduction	21
1.2. L'ontologie du cadre conceptuel (1) : inventaire des entités et des relations	23
1.3. L'ontologie du cadre conceptuel (2) : l'émergence d'agrégats homogènes	28
1.4. L'ontologie du cadre conceptuel (3) : une approche heuristique par les quadrants	37
1.5. Cadre conceptuel d'arrière-plan, observateur et modèle	42
1.6. Les concepts primitifs de nos ontologies	43
1.7. Conclusion	46
1.8. Annexe : syntaxe et sémantique des diagrammes de classe UML	46
1.9. Bibliographie	50
Chapitre 2. Ontologies et modélisation par SMA en SHS	53
Denis PHAN	
2.1. Introduction	53
2.2. Modélisation	54

2.3. L'ontologie comme élément de la démarche de connaissance et comme outil de description d'un point de vue conceptuel en vue de sa modélisation	69
2.4. Des ontologies pour la modélisation à base d'agents	75
2.5. Conclusion	83
2.6. Annexes	83
2.7. Bibliographie	88

**Chapitre 3. Le « test ontologique » : un outil de médiation
pour la modélisation agent.**

Pierre LIVET et Lena SANDERS

3.1. Introduction.	95
3.2. L'ontologie dans une démarche de modélisation : croisement des points de vue philosophique et informatique	97
3.3. Le test ontologique : un outil pour comparer et confronter	102
3.4. Modèles concurrents	106
3.5. Test ontologique et émergence	107
3.6. Conclusion	108
3.7. Bibliographie	109

Chapitre 4. Les points de vue et leur modélisation.

Jean-Pierre MÜLLER

4.1. Introduction.	111
4.2. Un exemple	114
4.3. Les logiques de description	117
4.4. Les logiques de description contextuelles	119
4.5. Articulation des points de vue	123
4.6. Conclusion	126
4.7. Bibliographie	127

**Chapitre 5. L'individuel et le collectif : ontologie et intersubjectivité
dans les SMA**

Jacques FERBER et Denis PHAN

5.1. Introduction.	131
5.2. Un point de vue « intégral » sur les SMA dans un contexte interdisciplinaire	131
5.3. MASQ : systèmes multi-agents fondés sur les quadrants	137
5.4. Cognition et intersubjectivité	145

5.5. Conclusion	153
5.6. Bibliographie	153
Chapitre 6. Une ontologie des systèmes à base d'agents (AB) : application du cadre conceptuel AROC à la modélisation par SMA en SHS	159
Christophe SIBERTIN-BLANC et Denis PHAN	
6.1. Introduction	159
6.2. Un cadre conceptuel pour modéliser un système	160
6.3. Ressources, agents et opérations : la structure d'un système	169
6.4. Actions, structure de contrôle, procédures et comportements : le fonctionnement d'un système	176
6.5. Conclusion	182
6.6. Annexe : l'interprétation des diagrammes sagittaux	183
6.7. Bibliographie	186
DEUXIÈME PARTIE. ONTOLOGIES SPATIALES	191
Chapitre 7. Interaction d'ontologies informatique et géographique pour simuler des dynamiques multiscalaires	193
Thomas LOUAIL et Denise PUMAIN	
7.1. Introduction : théorie géographique et modèle informatique, en boucle	193
7.2. La question de l'articulation des niveaux	194
7.3. L'exemple de la représentation de l'espace géographique	199
7.4. L'exemple du concept de fonction urbaine	203
7.5. Conclusion	206
7.6. Bibliographie	206
Chapitre 8. Une ontologie formelle pour la modélisation de systèmes complexes en géographie : le modèle AOC	209
Patrice LANGLOIS	
8.1. Introduction	209
8.2. Définition des concepts d'AOC	210
8.3. Relations entre les concepts de base	217
8.4. Conclusion	222
8.5. Bibliographie	223

Chapitre 9. Représenter et modéliser un système de villes dans le temps long : une approche ontologique	225
Anne BRETAGNOLLE et Hélène MATHIAN	
9.1. Introduction	225
9.2. Une ontologie appuyée sur trois domaines	226
9.3. Retour sur les modèles et la théorie urbaine	231
9.4. Bibliographie	234
 Chapitre 10. Une ontologie conceptuelle du domaine des risques et des catastrophes	 237
Damienne PROVITOLO, Edwige DUBOS-PAILLARD et Jean-Pierre MÜLLER	
10.1. Introduction	237
10.2. Apport et méthodologie de conception et validation d'une ontologie du domaine des risques et des catastrophes	239
10.3. Une ontologie conceptuelle du domaine des risques et des catastrophes	241
10.4. Premier exercice de validation de l'ontologie factuelle à partir du récit du grand séisme de Kantô (1923)	254
10.5. Conclusion et perspectives	258
10.6. Bibliographie	259
 Chapitre 11. De l'ontologie du domaine de la croissance urbaine à celle d'un modèle dynamique de croissance urbaine sous SpaCelle	 263
Edwige DUBOS-PAILLARD et Patrice LANGLOIS	
11.1. Introduction	263
11.2. Cadre méthodologique	264
11.3. Construction de l'ontologie thématique de l'espace rouennais	266
11.4. La modélisation	268
11.5. Mise en relation de l'ontologie thématique avec l'ontologie du modèle	272
11.6. Conclusion	277
11.7. Bibliographie	278
 Chapitre 12. Du spécifique au générique, ontologie des systèmes territoriaux	 281
Héloïse SIMON, Mireille FARGETTE, Maud LOIREAU et Thérèse LIBOUREL	
12.1. Introduction	281
12.2. Point de départ : description d'un agrosystème	282

12.3. Vers un système territorial émergeant des interactions homme-milieu	283
12.4. La quête de l’empreinte et de sa profondeur spatio-temporelle.	285
12.5. Conclusion	286
12.6. Bibliographie	286
Chapitre 13. Une ontologie pour décrire les transformations du système de peuplement européen entre 800 et 1100	289
Cécile TANNIER, Elisabeth ZADORA-RIO, Samuel LETURCQ, Xavier RODIER et Elisabeth LORANS	
13.1. Introduction	289
13.2. Démarche	290
13.3. Une grille de lecture pour caractériser les transformations d’un système de peuplement	291
13.4. Le système de peuplement de l’Europe du Nord-Ouest entre 800 et 1100 : définition des entités et de leurs relations	294
13.5. Comportements et actions des entités.	301
13.6. Perspectives en vue du développement d’un système multi-agents.	308
13.7. Bibliographie	309
TROISIÈME PARTIE. ONTOLOGIES SOCIALES	311
Chapitre 14. Agentivité, rationalité et ontologie sociale : questions posées aux SHS par les modèles à base d’agents.	313
Denis PHAN	
14.1. Introduction	313
14.2. Agents, actions et raisons dans le cadre conceptuel SHS	315
14.3. Les rationalités intentionnelles et les individualismes méthodologiques.	333
14.4. Conclusion	355
14.5. Bibliographie	357
Chapitre 15. Une formalisation de la sociologie de l’action organisée : métamodèle, simulation et étude analytique.	373
Françoise ADREIT, Paul CHAPRON, Joseph EL GEMAYEL, Pascal ROGGERO, Sandra SANDRI et Christophe SIBERTIN-BLANC	
15.1. Introduction	373
15.2. Brève introduction à la sociologie de l’action organisée.	374

12 Ontologies et modélisation par SMA en SHS

15.3. La structure d'une organisation : le socle	375
15.4. Le métamodèle appliqué au cas Travel-Tour	382
15.5. La structure d'une organisation : extensions.	384
15.6. L'étude des configurations sociales d'une organisation	389
15.7. La simulation du comportement des acteurs.	391
15.8. Conclusion	394
15.9. Annexe.	396
15.10. Bibliographie	396
 Chapitre 16. Les marchés de biens.	 401
Denis PHAN, Juliette ROUCHIER, Christophe SIBERTIN-BLANC et Roger WALDECK	
16.1. Introduction : ce qu'apporte la modélisation agent à l'étude des marchés	401
16.2. Le marché vu comme institution et comme organisation	404
16.3. Les biens.	412
16.4. Les agents	416
16.5. Exemples de marchés modélisés par SMA.	419
16.6. Conclusion	431
16.7. Bibliographie	431
 Chapitre 17. Une ontologie des configurations de la sociologie de l'imprévisible	 439
Christophe SIBERTIN-BLANC et Michel GROSSETTI	
17.1. Introduction	439
17.2. Texte du sociologue : première formalisation de l'ontologie présente dans l'ouvrage <i>Sociologie de l'imprévisible</i>	440
17.3. Proposition de l'informaticien : un métamodèle des configurations.	444
17.4. Conclusion	458
17.5. Bibliographie	460
 Chapitre 18. La structuration sociale de l'espace scolaire : une ontologie multipoints de vue, intégrée mais non réductrice	 461
Jean-Christophe FRANÇOIS, Hélène MATHIAN, Lena SANDERS, Nathalie BULLE, Roger WALDECK et Denis PHAN	
18.1. Introduction	461
18.2. Deux cadres conceptuels d'arrière-plan : le point de vue « externaliste » et le point de vue avec « rationalité intentionnelle »	463

18.3. Les domaines théoriques mobilisés pour lire et conceptualiser les inégalités scolaires	465
18.4. Elaboration d'une plate-forme de simulation commune	467
18.5. Conclusion	473
18.6. Bibliographie	474
Chapitre 19. Emergence, croyances individuelles et croyances sociales	477
Denis PHAN et Jacques FERBER	
19.1. Introduction	477
19.2. Ontologie des formes d'émergence et causalité des actions <i>versus</i> des structures	478
19.3. Des croyances individuelles aux croyances sociales	488
19.4. Coémergence des classes et des croyances sociales	503
19.5. Conclusion	519
19.6. Bibliographie	519
Chapitre 20. Qu'est-ce que suivre une règle ? Réflexion sur les normes et les usages	527
Denis PHAN, Jacques FERBER, Leonardo LANA DE CARVALHO et Franck VARENNE	
20.1. Introduction	527
20.2. Le « suivi d'une règle » chez Wittgenstein et les limites du computationnalisme.	529
20.3. Le cadre conceptuel (1) : quadrants et caractérisation des comportements	532
20.4. Le processus social d'application de la règle : la pratique, l'usage et la norme	535
20.5. Le cadre conceptuel (2) : règles et types d'agents	542
20.6. Conclusion	547
20.7. Bibliographie	548
Index	553

Introduction

En philosophie, l'ontologie étudie ce qui (pourrait) existe(r) : le type et la structure des objets, propriétés, événements, processus et relations. En informatique et en ingénierie des connaissances, une « ontologie » est la spécification de la conceptualisation d'un domaine de connaissance en vue d'un traitement informatique de celui-ci. Dans cet ouvrage, notre domaine de connaissance ne concerne pas des « données » empiriques, comme par exemple pour l'ontologie d'un système d'information géographique (SIG), mais un modèle d'investigation du domaine considéré, comprenant des éléments empiriques mais aussi des hypothèses conceptuelles. Ce modèle d'investigation a pour but de répondre à une question d'intérêt sur le domaine de référence. La simulation en sciences sociales computationnelles est le traitement informatique associé au modèle. Plus spécifiquement, il s'agit de la modélisation à base d'agents (ABM) pour les sciences de l'homme et de la société (SHS) en vue de la simulation par système multi-agents (SMA).

A la différence de nombreuses ontologies, nous ne proposons pas une représentation unique du domaine de connaissance considéré, mais plutôt la formalisation d'une pluralité de « points de vue » sur celui-ci, décrits dans un cadre général. Ce dernier nous permet de comparer et/ou combiner ces différents points de vue qui coexistent en SHS, qui peuvent ainsi correspondre à une pluralité d'ontologies et de modèles. Les formalismes utilisés sont principalement, mais non exclusivement, basés sur UML (*Unified Modeling Language*).

Un SMA est un système artificiel (informatique) qui comporte des éléments passifs, des éléments actifs (les agents) et des relations entre ces éléments. La modélisation par SMA est donc un processus d'abstraction qui utilise un modèle qui sera mis en œuvre informatiquement par un SMA. La modélisation par SMA en SHS fait appel à différentes fonctions qui peuvent se traduire par la mise en présence de plusieurs interlocuteurs. Aux deux bouts de la chaîne, il y a d'une part une fonction de « thématicien » (spécialiste d'un domaine de connaissance SHS)

et d'autre part, comme le modèle doit être mis en œuvre par un SMA, il y a une fonction de développement informatique (qui n'est pas abordée dans cet ouvrage, centré sur la modélisation).

Entre les deux, il existe nécessairement une fonction de modélisation. Nous distinguons alors deux moments dans le processus d'abstraction qui va du domaine de référence à la mise en œuvre informatique. L'activité de modélisation nécessite en effet des connaissances qui sont exprimées dans un cadre de pensée général qui permet de les organiser systématiquement. Pour désigner un tel cadre de pensée, nous parlons de « cadre conceptuel », et nous proposons de différencier deux cadres conceptuels correspondant à deux fonctions distinctes mais complémentaires du processus de modélisation.

La première fonction se rattache à l'expertise propre au domaine SHS considéré et s'exprime donc dans un « cadre conceptuel SHS » qui relève du thématicien spécialiste du domaine de référence. La seconde est une fonction de modélisation qui vise à la conception d'un modèle par SMA. Le modélisateur utilise donc un cadre conceptuel adapté à la conception de modèle par SMA que nous désignerons comme « cadre conceptuel de modélisation à base d'agents ». Dans ce cadre, le modélisateur pense en « concepts orientés agents », adaptés à la mise en œuvre par SMA (c'est-à-dire les concepts primitifs de nos ontologies). Les concepts du cadre conceptuel de modélisation AB restent en principe indépendants de leur mise en œuvre dans un SMA, pour laquelle le cadre de référence pertinent pourrait être désigné comme « cadre de développement par SMA ».

L'exercice de description et de formalisation d'une ontologie apparaît donc comme un « dialogue conceptuel » entre le thématicien et le modélisateur, et l'ontologie comme le « médiateur » de ce dialogue.

Les exemples proposés dans les seconde et troisième parties de ce livre proviennent de trois domaines des sciences sociales : la géographie, l'économie et la sociologie. Les résultats obtenus se déclinent selon trois dimensions :

- l'ingénierie des modèles (première partie) ;
- les conséquences méthodologiques disciplinaires et épistémologiques des choix ontologiques (qui sont discutés ponctuellement dans les seconde et troisième parties) ;
- la comparaison et l'évaluation des modèles, en particulier avec le « test ontologique » (chapitre 3).

Le présent ouvrage repose principalement sur les travaux réalisés dans le cadre du projet ANR-CO-SMA-GEMS (2007-2010), mais il intègre aussi des travaux

réalisés à la suite de ce projet (ANR-Harmonie-cités pour le chapitre 9 ; ANR-DYXI, pour le chapitre 18 ; et ANR-TransMondyn pour le chapitre 13). Les auteurs remercient l'ANR pour son soutien financier.

Programme ANR « Corpus et outils de la recherche en sciences humaines et sociales » (CORP) :

- projet : ANR-06-CORP : CO-SMA-GEMS (Corpus d'Ontologies pour les Systèmes Multi-Agents en Géographie, EconoMie et Sociologie) (2007-2010, coordination : Denis Phan) ;

- projet : ANR-07-CORP : Harmonie-cités (2008-2011, coordination : Anne Bretagnolle).

Programme ANR « Systèmes complexes et modélisation mathématique » (SYSCOMM) :

- projet ANR-08-SYSC : DYXI (Dynamiques Citadines Collectives : Hétérogénéités Spatiales et Individuelles) (2009-2012, coordination : Jean-Pierre Nadal).

Programme ANR : TransMondyn (2011-2014, coordination : Lena Sanders).